



# Buratos negros: as zonas vedadas do Universo

JORGE MIRA PÉREZ

Jorge Mira Pérez é catedrático do  
Departamento de Física Aplicada  
da Universidade de Santiago  
de Compostela e membro do consello de  
redacción de GRIAL.

Colla unha pedra e tírea verticalmente cara arriba. Ao cabo dun tempo caeralle na cabeza: a manifestación da gravidade. Necesitaría tirala a 11,2 km/s (40.320 km/h) para que esa pedra non retornase e se perdesse no espazo exterior. Se en vez de estar na Terra estivese vostede nun planeta con maior atracción gravitacional, a velocidade necesaria sería maior. Dende a superficie do Sol (se tal experimento se puiden facer), a velocidade de escape debería ser de algo máis de 600 km/s.

Trátase dun cálculo sinxelo que se deriva da fermosa Lei da Gravitación Universal, enunciada por Isaac Newton (1643-1727) en 1687 no famoso *Philosophiæ naturalis principia mathematica* (*Principios matemáticos de filosofía natural*), un dos libros máis determinantes da historia da humanidade. Newton subira a ombros de xigantes, coma Galileo Galilei (1564-1642), Johannes Kepler (1571-1630), ou mesmo o frade dominico español Domingo de Soto [1] (1494-1560), o primeiro en enunciar que un corpo en caída libre experimenta unha aceleración constante.

## O poder da Revolución Científica

Esa dedución de Newton foi un dos sinais de identidade da Idade Moderna, o detonante da chamada Revolución Científica e dun profundo cambio no paradigma do pensamento a partir do século XVII. Con ela o ser humano tivo a sensación de comprender a totalidade do Universo, xa que toda alteración producida nel era explicada por esa lei. Sabendo os estados e posicións de cada unha das partículas que compuxesen a existencia, a lei de Newton sería quen de predicir o que pasaría para sempre. A morte do azar. Iso, en certo modo, acontece coas predicións do movemento dos obxectos celestes: sabemos cando saen e se poñen o Sol e a Lúa, predicimos a data e hora exacta de cada eclipse de Sol ou Lúa para futuros séculos. Con pequenas correccións, a física newtoniana dínos onde vai estar cada planeta do sistema solar en calquera data que elixamos, mesmo moito despois de pasar a xeración dos nosos netos.

Quen mellor amosou esa sensación foi un dos meirandes desenvolvedores da matemática que aproveita as ideas da gravitación: Pierre-Simon Laplace (1749-1827), que seica respondeu deste xeito ao seguinte comentario de Napoleón:

◀ A partir das observacións do Event Horizon Telescope, obtívose a primeira imaxe do burato negro do centro da galaxia M87  
© Event Horizon Telescope Collaboration

No marco da Relatividade Xeral, unha masa xa non exerce unha forza sobre outra masa, tal e como pensaba Newton. O que a física actual nos di é que esas masas habitan no contexto dun espazo-tempo de catro dimensións (tres correspondentes ao espazo, e unha ao tempo, imbricadas entre si)

—Vides de escribir un libro sobre o sistema do Universo, sen mencionar nin unha soa vez o seu Creador.

Laplace contestou:

—Non necesitei esa hipótese, señor.

En 1784, o pastor anglicano John Michell (1724-1793) fíxose a seguinte pregunta: ata onde habería que aumentar a masa e densidade dunha estrela para que o cálculo da súa velocidade de escape fose igual á da velocidade da luz?

A luz, un fenómeno considerado instantáneo durante case toda a historia, empezara a ser retada xa polo mesmo Galileo (unha proba do valor que ten o escepticismo para a nosa especie, que nunca dá nada por sentado). En 1676 a súa velocidade inferírase de xeito aproximado polo danés Ole Roemer (1644-1710), na súa busca dunha utilidade práctica: un sistema de medida do tempo para medir ben a lonxitude xeográfica na navegación [2]. Roemer mediu uns 216.000 km/s, unha proeza dados os escasos medios da época. En 1728, James Bradley (1693-1762) xa obtivera 301 000 km/s, un valor moi parecido ao aceptado actualmente, de 299.792 km/s.

Michell tiña o dato da velocidade sobre o que traballar e a conta era sinxela. O resultado: habería que chegar a ter unha estrela da densidade do Sol e cun diámetro 500 veces maior. A velocidade de escape dende a superficie desa estrela, ao igualar a da luz, faría que ningún raio puidese escapar dela. Ningunha da súa luz podería alumear para fóra. Dende a distancia esa estrela veríase, polo tanto, negra. Estamos, xa en 1784, ante a primeira reflexión sobre o que hoxe se coñece como burato negro.

Eran épocas nas cales o pensamento newtoniano o invadía todo, mesmo as teorías da luz. Newton describíraa coma unha sucesión de partículas, que polo tanto eran susceptibles de seren alteradas pola gravidade, así que a conta do reverendo Michell tiña sentido. Ocorre, porén, que na ciencia todo é falible, e a teoría corpuscular da luz foi derrubada en 1803 polo físico e lingüista (axudou a descifrar os xeroglíficos exipcios da Pedra de

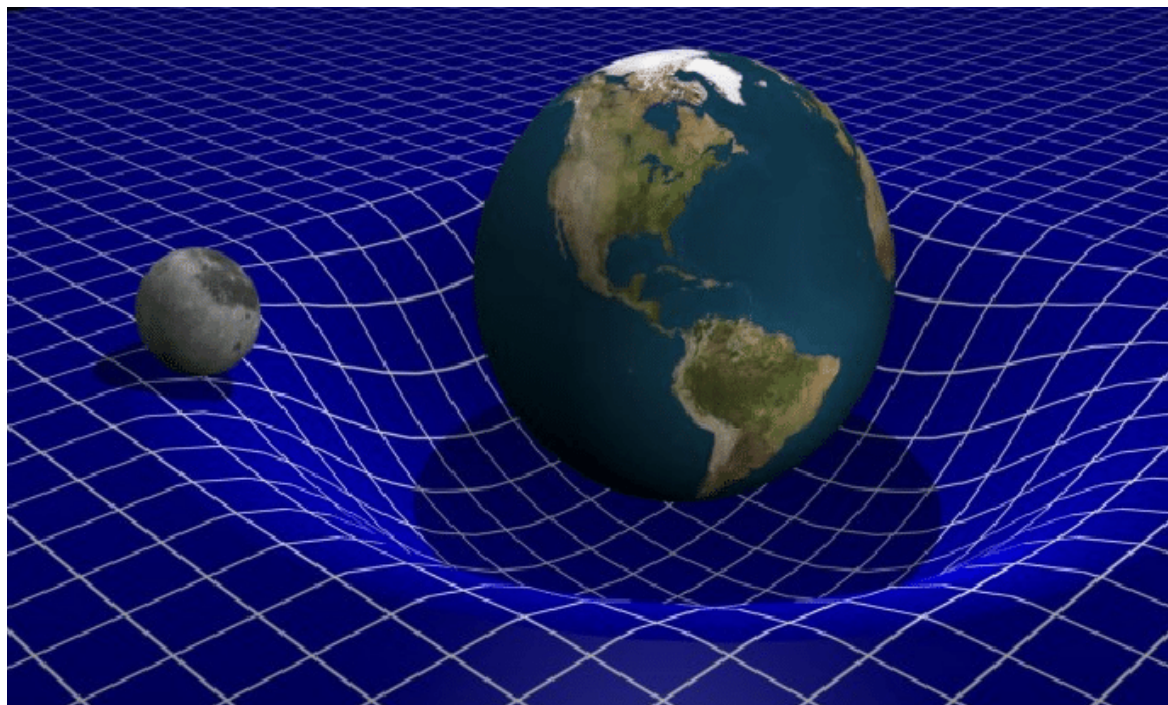
Rosetta) Thomas Young (1773-1829). Young, cun experimento moi creativo, estableceu que era unha onda<sup>1</sup>. A idea da estrela escura de Michell, que empezaba a ser considerada polos grandes líderes da ciencia europea, necesitaba de corpúsculos luminosos sobre os que a gravidade puidese traballar: cunha onda non funcionaba o seu razoamento, así que acabou escurecéndose ata ser esquecida. O seu traballo non se redescubriu ata 1970.

## A chegada de Albert Einstein

A Lei da Gravitación Universal é fermosa, sinxela. Tan perfecta que parecía que tiña que ser necesariamente certa. Pero non o é. O sino da ciencia: propoñer unha sucesión case inacabable de modelos que intentan converxer á realidade.

A bomba que acabou con ela veu dun experimento realizado en 1887 por Albert Michelson<sup>2</sup> (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923) coa luz. A súa velocidade, medida por observadores a diferentes velocidades, resultaba ser a mesma. Pénseo ben: escapa á nosa lóxica. Se vostede está parado ao pé dunha estrada, e pasa un coche a 50 km/h, ao medir a súa velocidade obterá ese valor, 50 km/h. Pero se agora vostede colle unha bicicleta e persegue ese coche pedaleando a 30 km/h, ese coche xa só escapará de vostede a 20 km/h.

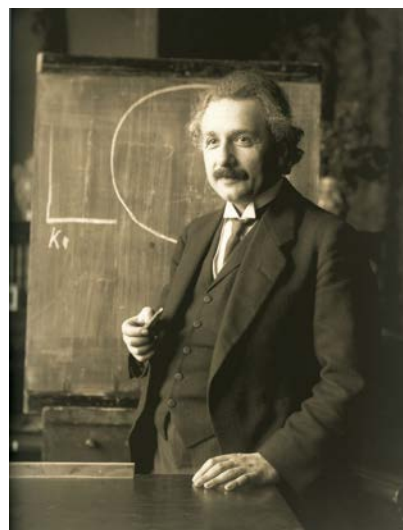
Pois coa luz non ocorre iso. A velocidade que se medirá será sempre a mesma, dá igual o rápido que se corra detrás dela. Amañar iso levou todo o que quedou de século XIX<sup>3</sup>, ata que dous grandes xenios como Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) (Premio Nobel de Física en 1902) e Henri Poincaré (1854-1912) albiscaron un pouco antes de 1905 que a solución estribaba nunha reformulación das medidas de distancias e tempo. Con todo, a solución pasaba por atacar a natureza de conceptos tan grandiosos como o do propio espazo e o tempo. A deconstrución necesaria para edificar un novo edificio requiría unha ousadía só ao alcance de Albert Einstein (1879-1955).



Representación do efecto dunha masa sobre o espazo-tempo no marco da Teoría da Relatividade. De *Scientific Research. An Academic Publisher*, "A Scientific Legacy: Theory of Dynamic Interactions"

Ese novo edificio coñécese como Teoría da Relatividade [4], que fixo de Einstein o científico máis coñecido da historia. Cando se lle concedeu o Premio Nobel de Física 1921 (anunciado en 1922, con carácter retroactivo), a súa fama era comparable á das grandes estrelas do cine coma Charles Chaplin. Non era para menos: en 1905, coa súa Teoría da Relatividade Restringida [4], resolvía o problema da luz, reformulaba a comprensión dos fenómenos eléctricos e magnéticos e tiraba con parte das sagradas maneiras newtonianas de entender o espazo e o tempo. A puntilla á Lei da Gravitación Universal de una Einstein outra vez en 1915 coa Teoría da Relatividade Xeral [4]: a maneira coa cal se entenden os fenómenos gravitacionais hoxe en día.

No marco da Relatividade Xeral, unha masa xa non exerce unha forza sobre outra masa, tal e como pensaba Newton. O que a física actual nos di é que esas masas habitan no contexto dun espazo-tempo de catro dimensións (tres correspondentes ao espazo, e unha ao tempo, imbricadas entre si). No lugar en que habita unha masa prodúcese unha deformación da xeometría dese espazo-tempo, dun xeito moi fácil de ilustrar a nivel divulgativo: pénsese en que lle ocorrería a unha lámina plástica perfectamente plana e estendida se lle puxésemos unha bóla de metal no medio. Crearíase unha deformación, coma un oco, ao redor do cal poderíamos facer dar voltas unha bóla máis pequena. Trasládeso o exemplo ao noso sis-



Albert Einstein

1. Albert Einstein, nun histórico traballo de 1905, en que deu a explicación do efecto fotoeléctrico [3], provocou un xiro inusitado na descrición da natureza da luz, ao establecer que se comporta tanto coma onda coma partícula.
2. O primeiro norteamericano en gañar o Premio Nobel (en 1907, de Física)
3. En estrito senso, a busca da solución xa arrancara algo antes, para facer cadrar certas propiedades das ecuacións que describen o electromagnetismo, o que en certo modo viña a ser unha cara distinta do mesmo problema.



tema solar, sendo o Sol a bóla grande e a Terra a pequena. Así a Terra non é atraída polo Sol, senón que circula coa velocidade xusta para ir dando voltas ao redor do oco do Sol e non caer cara a el.

Alén da cuestión práctica, a revolución einsteiniana estaba a crear un novo marco xeométrico de comprensión do Universo, o nacemento da chamada cosmoxía física (a cosmoxía é a parte da física que estuda o Universo como un todo).

### Aparición dos buratos negros no paradigma relativista

Ocorre, iso si, que a obtención de solucións exactas nas ecuacións de Einstein é bastante difícil. Porén, en 1916, xusto ao ano seguinte da súa presentación, Karl Schwarzschild (1873-1916) deu coa primeira solución exacta mentres combatía na fronte da I Guerra Mundial (onde falecería), ao considerar o caso máis simple: unha bóla perfectamente esférica e sen rotación.

Ao resolver o problema nesa situación particular, atopou un feito sorprendente: se dentro de certo raio xeométrico ao redor do punto central desa esfera se producía unha acumulación enorme de masa (calculada a través dunha ecuación que el obtivo), a deformación do espazo-tempo saída das ecuacións de Einstein implicaba que un raio de luz que entrase dentro da zona acoutada por ese raio xeométrico non volvería saír. Esa zona límite, delimitada por unha superficie esférica que de agora en diante chamaremos **horizonte de sucesos**, veríase negra dende fóra, ao non deixar saír luz, que circularía por un camiño sen volta para fóra (de feito, tragaría para sempre calquera cousa que se lle achegase). Se o lector lembra a primeira parte deste artigo, decatarase de que Schwarzschild acababa de obter o análogo relativista da conta newtoniana que fixera o reverendo Michell en 1784.

Foi o primeiro cálculo moderno dun burato negro dentro do paradigma actual da física; pero a ciencia non estaba preparada para algo tan estraño. De feito, nin sequera o estaba para a propia Teoría da Relatividade. Aínda que pareza mentira, a idade de ouro desta parte da física non chegou ata despois da morte de Einstein (o primeiro congreso sobre a Relatividade non se organizou ata case 1960). Entre 1915 e 1960 houbo, porén, xenios que se aventuraron a especular sobre a realidade dun obxecto tan estraño, entre eles o norteamericano, Robert Oppenheimer (1904-1967), que é coñecido sobre todo por ser

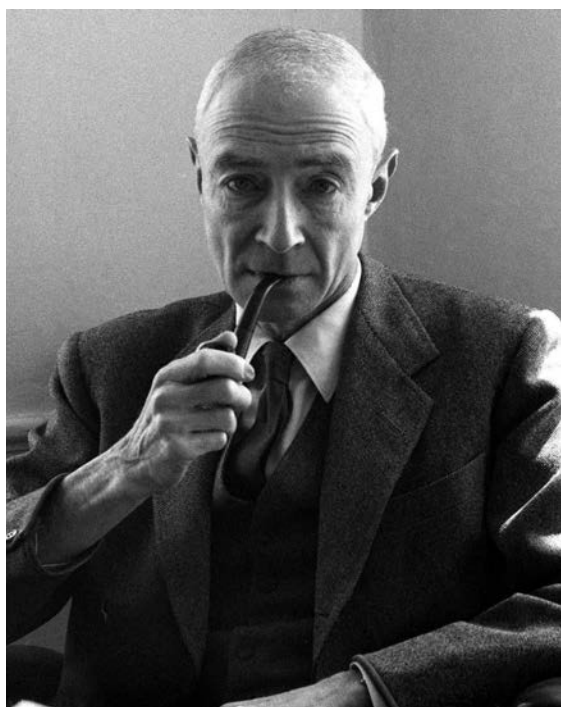
o director do Proxecto Manhattan, que construíu a primeira bomba atómica (o que lle valeu o alcume de “pai da bomba atómica”), aínda que o seu talento explorou moitísimas áreas. En 1939 unha das súas investigacións encanou coa busca da viabilidade dos buratos negros.

### A estraña relación entre o tamaño dun burato negro e a súa masa

O raio do burato negro definido por Schwarzschild describe unha relación abofé curiosa coa masa que encerra: o seu raio medra de maneira proporcional coa cantidade de masa. Isto é por se a masa medra o dobre, o raio medra o dobre. Pode parecer lóxico, pero non o é. Pensemos que, se o raio se multiplica por 2, o volume contido na esfera definida por ese raio medra 8 veces (o raio ao cubo). Isto quere dicir que, canto maior sexa o tamaño do burato negro, menos denso será. Se consideramos a masa do burato negro, e a dividimos polo volume acoutado polo horizonte de sucesos (o que viría sendo o volume do burato negro), veremos que, se o raio é moi alto, a densidade media dese burato negro poderá reducirse o que queiramos. Poderá ser mesmo menor que a do aire da nosa atmosfera. E trátase de algo real: por exemplo, o burato negro da galaxia M87, que deu a icónica foto que abre este artigo, ten unha densidade que é un terzo da do aire que respiramos.

Esta circunstancia xa foi comprendida por Arthur Eddington (1882-1944), que se fixera moi coñecido coa célebre observación dunha eclipse de Sol en 1919, que deu a máis espectacular confirmación da Relatividade Xeral. Eddington afirmou en 1926 que non se debía desbotar a idea da existencia de buratos negros xigantescos, pois a súa densidade, como vimos de comprobar, era viable.

Pero a idea cae se pensamos que o burato negro tivo que ter unha xénese, tivo que empezar sendo pequeno e ir engordando a medida que foi engulindo masa. E cando manexamos tamaños pequenos, o cálculo da densidade necesaria leva a uns números mareantes. Un burato negro coa masa da Terra tería só 9 milímetros de raio (o seu horizonte de sucesos sexa unha superficie esférica dese raio). Por cuestións que non debullaremos aquí, un corpo celeste coa masa da Terra non podería sufrir un colapso gravitacional que levase a un burato negro (cómpre que a masa inicial que dea lugar ao colapso sexa polo menos de 1,44 veces a masa do Sol, e iso daría un burato



Julius Robert Oppenheimer, durante una entrevista no Instituto de Estudos Avanzados de Princeton, 1963

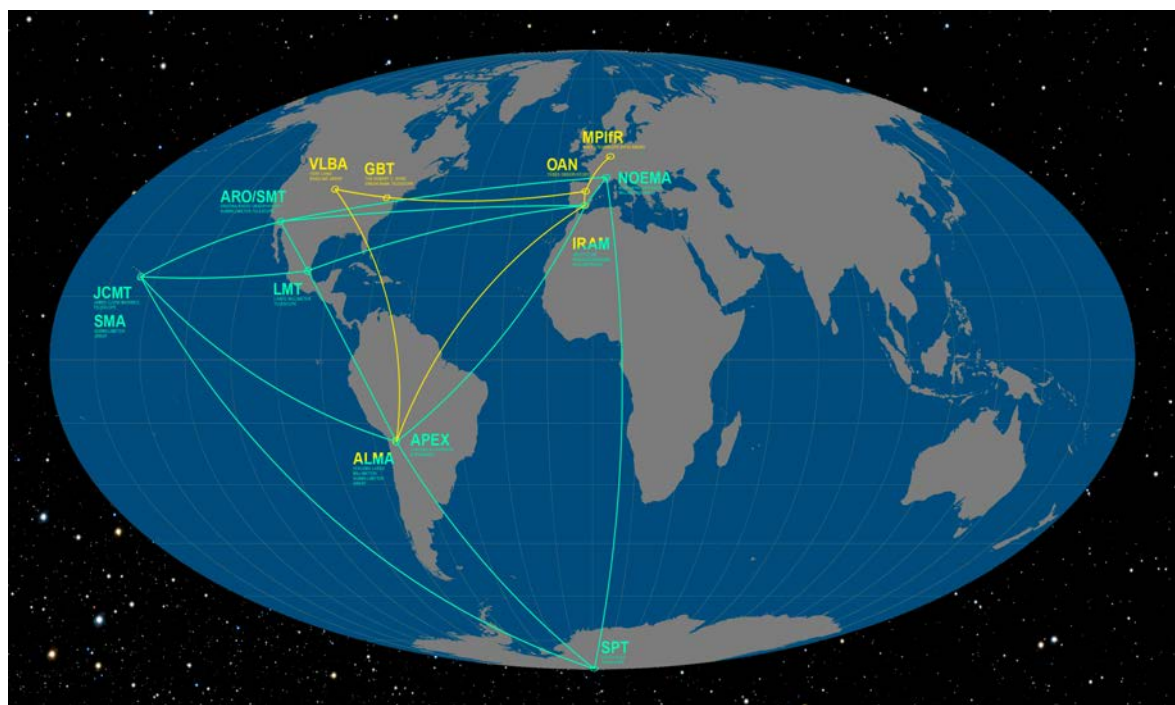


Stephen Hawking, acompañado de Jorge Mira, nunha visita a Fisterra, en 2008

negro duns 4 km de raio); pero, sexa como for, as densidades de materia que saen a esa escala son inimaxinables e, de feito, ao principio foron consideradas algo irrealizable. Despois de todo, a materia da que estamos feitos pode considerarse oca. Ilústranolo unha reflexión sobre o átomo máis sinxelo, o de hidróxeno, formado por unha carga positiva (protón) no seu núcleo e unha negativa (electrón) dándolle voltas. Se representásemos ese átomo á escala dun estadio de fútbol, o protón do seu núcleo estaría no centro do campo de xogo e sería do tamaño dun pequeno chícharo e o electrón sería unha partícula de po dando voltas polas bancadas. E o máis importante é que as leis que revolucionaron a física que explica os átomos nos anos seguintes á I Guerra Mundial impedían que eses volumes tan ocos se puidesen apertar. Con esa realidade da densidade da materia, non parecía que os buratos negros puidesen ser algo real, e o cálculo do burato negro de Schwarzschild non sería máis que unha simple anécdota matemática.

Pero a comprensión da natureza do átomo avanzou moito nas décadas de 1920 e 1930, coa chamada mecánica cuántica e varios descubrimentos clave (o neutrón foi descuberto en 1932). Nese contexto, Oppenheimer e os seus colaboradores exploraron os límites ata os que se pode comprimir a materia e viron que se podía ir máis aló, mesmo ata chegar ás condicións necesarias para un burato negro [5]. Eles

foron os que inauguraron esta liña de traballo en serio, aínda que adiantándose dúas décadas ao seu florecemento. Oppenheimer mesmo se decatou das singularidades que se producen na fronteira definida polo horizonte de sucesos. Malia ser unha superficie virtual, unha fronteira matemática, un observador externo, situado a gran distancia, vería que o tempo nesa fronteira escura estaría detido. Se un astronauta avanzase cara ao horizonte de sucesos, e puidésemos velo cun telescopio, a medida que se achegase a ese horizonte pareceríanos que se detén e, chegado a el, visto dende lonxe tardaría unha eternidade en atravesalo. Pola contra, o astronauta non notaría nada, e vería que o seu tempo fluiría coma sempre: atravesaría o horizonte de sucesos ao seu ritmo. Son as realidades do tempo no marco da relatividade. Por esta circunstancia, Oppenheimer chamou a estes obxectos *estrelas conxeladas*, xa que un observador externo vería o horizonte de sucesos do burato negro tal cal estaría no momento de ser creado. Daquela aínda non se lles dera o nome de buratos negros: ese bautizo non viría ata 1967, da man de John Wheeler (1911-2008). Por certo, se especulamos cunha posible viaxe ao horizonte de sucesos dun burato negro, o tamaño do burato importa: se este é moi pequeno, a distorsión do espazo-tempo ao seu redor é tan grande que a diferenza de gravidade entre os pés e a cabeza do astronauta sería tan brutal que



Localización dos observatorios participantes no Event Horizon Telescope, a rede que permitiu compoñer a imaxe do burato do centro da galaxia M87

acabaría esnaquizado. Pola contra, nun burato negro masivo, esas diferenzas serían moito máis suaves e non serían mortais. Se puidésemos facer unha viaxe ao bordo do horizonte de sucesos, e puidésemos volver á Terra, observaríamos que, por cada día pasado a carón dese bordo, na Terra pasarían séculos. Por así dicilo, o arró dun burato negro é unha máquina do tempo que nos cata-pulta ao futuro.

## Ver o inaccesible

Como dixemos anteriormente, a idade de ouro da teoría da relatividade empezou na década de 1960, logo de morto Einstein, e iso incluíu o traballo en buratos negros. Fundamentais foron as achegas de Roger Penrose (1931) e Stephen Hawking (1942-2018)<sup>4</sup>. Sobre todo este último desenvolveu importantes leis teóricas que explican as súas características, entre elas a máis salientable é a da chamada Radiación de Hawking [6]. Esta indica que os buratos negros, malia seren sumidoiros que todo o tragan, emiten radiación, coa conseguinte perda de masa e, o máis sorprendente, a través dese mecanismo acabarán desaparecendo, como evaporándose.

No eido da observación astronómica, empezaron a detectarse diferentes zonas do Universo onde as estrelas orbitaban tolamente ao redor dun aparente nada. Feitas as contas que levaban a ese comportamento gravitacional tan dispa-

do, saían cantidades de masa propias de buratos negros.

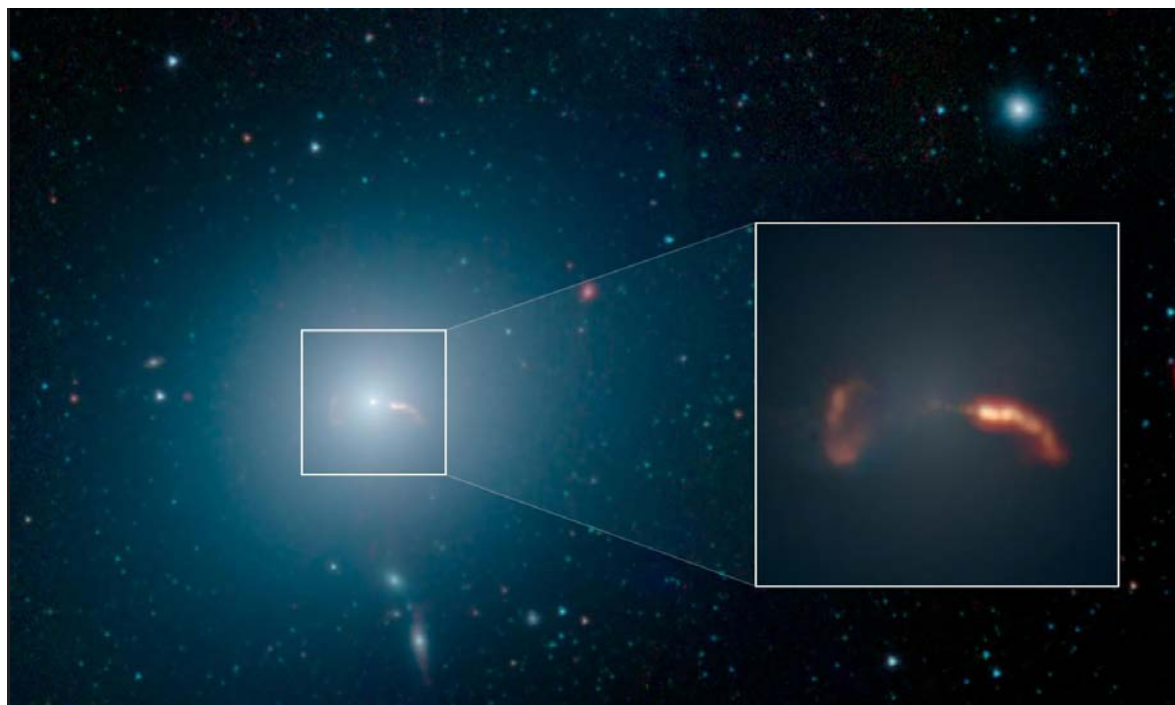
Fóronse obtendo tamén imaxes de algo moi característico destes sistemas: chorros de execucións de material que saen disparadas (a velocidades próximas á da luz) ao longo do eixe de xiro do burato negro, que poden ter unha lonxitude de milleiros de anos-luz (véxase figura).

O proxecto LIGO, de observación de ondas gravitacionais (producidas por unha alteración da xeometría do espazo tempo por mor do movemento dunha masa) acadou un fito ao ter éxito na súa detección en 2015 [7]. As ondas que se detectaron proviñan da fusión de dous buratos negros a 1300 millóns de anos luz de distancia, con masas que eran 29 e 36 veces maiores que a do Sol. No proceso, desapareceu una masa equivalente a 3 veces a do noso Sol convertida en enerxía (en virtude da equivalencia  $E=mc^2$ ), dun xeito tal que, nese momento, a enerxía radiada por ese proceso de fusión superou a do conxunto das estrelas do Universo observable. Nese momento foi a observación máis seria que se fixera xamais dun burato negro, pero viña ser como *escoitar* buratos negros. Faltaba o paso final: velos directamente.

## Fazaña tecnolóxica

O reto tecnolóxico non tiña precedente. Para que fosen vistos dende a Terra tiñan que ser ante todo grandes, así que se buscaron candidatos





A galaxia M87, fotografada polo Spitzer Space Telescope da NASA, ten un burato negro supermasivo que emite dous chorros de material ao espazo case á velocidade da luz. O recadro mostra unha vista en primeiro plano das ondas de choque creadas polos dous chorros

© NASA/JPL-Caltech/IPAC

entre os buratos negros máis supermasivos coñecidos. Un deles, no centro da galaxia Messier 87 (M87), a 55 millóns de anos luz, é dos máis xigantescos que se coñecen. Detrás do seu horizonte de sucesos agocha unha masa equivalente á de 6.500 millóns de veces o noso Sol. Con esa cantidade de masa, o cálculo do raio de Schwarzschild lévanos a unha cantidade asombrosa: 20.000 millóns de km. Iso é 5 veces máis que o raio medio da órbita do planeta Neptuno ao redor do Sol, ou o que é o mesmo: o tamaño estimado do horizonte de sucesos dese burato negro supermasivo é equivalente ao do noso sistema solar. Como xa indicamos anteriormente, este xigantismo leva a que a densidade media dentro do volume agochado polo veo do horizonte de sucesos sexa moi baixa, neste caso de  $0,44 \text{ kg/m}^3$  menor que a do aire que respiramos. Isto non debe levar ao engano de pensar que todo o volume interior desa zona teña que estar cheo dunha masa pastosa con esa densidade, senón que posiblemente a zona central do burato negro sexa a que teña unha densidade inimaginable, e o resto do espazo que o circunda será distinto. Cómpre lembrar unha vez máis que o horizonte de sucesos non é máis que un veo virtual: se un astronauta que estivese no seu bordo dese un paso a través desa fronteira, non notaría nada (agás que xa nunca máis podería volver saír). É máis, ao tratarse dun burato negro tan xigantescos, non habería distorsións gravitacio-

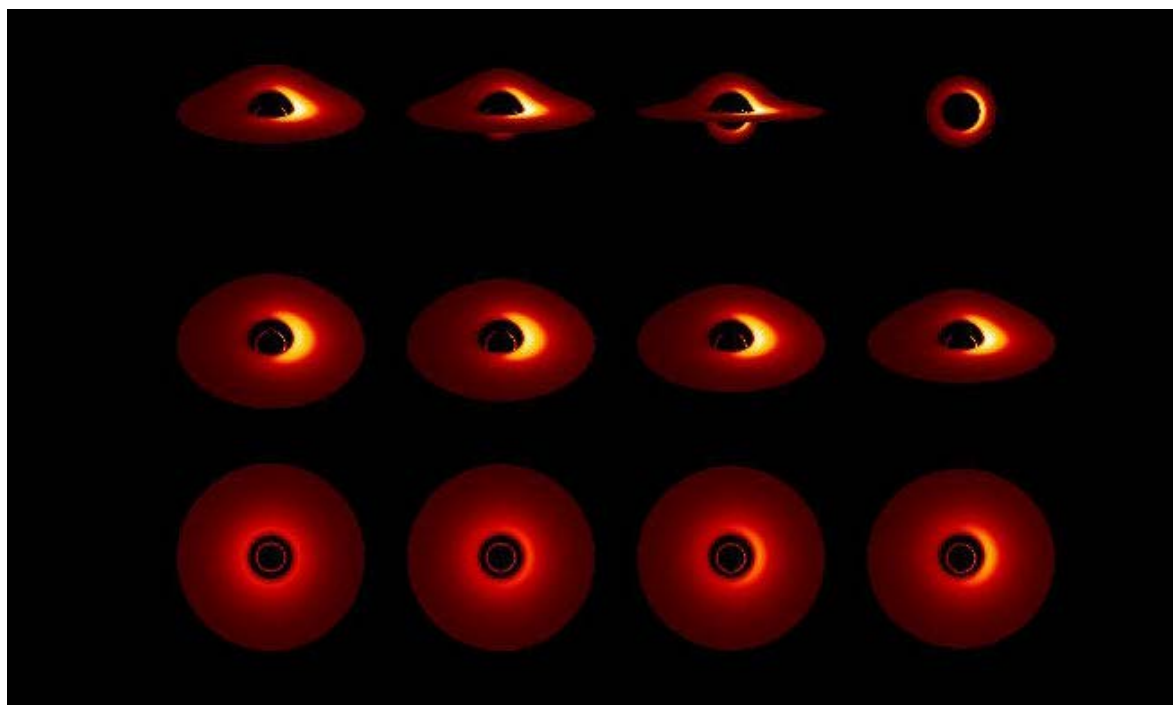
nais acusadas e non sería unha entrada violenta. A única diferenza, iso si, estaría no que observaría alguén dende moi lonxe: polo efecto da dilatación temporal relativista, contemplar esa entrada do astronauta no horizonte de sucesos levaríanos unha eternidade.

A percepción visual dese xa enorme tamaño da bóla negra veríase incrementada polo efecto que sobre a luz causa a distorsión do burato negro sobre o espazo circundante. A luz cúrvase e o resultado visual é análogo ao de meter unha culler nun vaso de auga. O efecto, descuberto por James Bardeen<sup>5</sup> (1939), fai que o tamaño do horizonte de sucesos para nós sexa cinco veces maior do que realmente é. Mesmo pode darse o caso de que existan liñas de luz que directamente estean a orbitar o horizonte de sucesos. O cadro complétase coa radiación provocada polo brutal proceso de engulido da masa. As masas, sometidas a ese movemento tan violento, sofren unha fricción que eleva moitísimo a súa temperatura e produce un efecto que podemos pensar

4. Ambos os dous recoñecidos en Galicia co Premio Fonseca de comunicación da ciencia, nos anos 2011 e 2008, respectivamente.

5. Fillo de John Bardeen, a única persoa gañadora de dous Premios Nobel de Física (1956, polo descubrimento do transistor, e 1972, pola teoría da supercondutividade).





Simulacións do disco do burato negro desde varios ángulos  
 Fonte: Science. J. A. Marck/J.-P. Luminet.

como análogo ao dun ferro ao lume moito tempo: vólvese incandescente e alumea.

A composición global sería que a bóla escura do burato negro estaría rodeada dunha coroa luminosa, formada tanto por estas liñas de luz dando voltas como por un anel de materia incandescente en eterna procesión rotante cara ao horizonte de sucesos. O cadro complétase coa radiación provocada polo brutal proceso de engulido da masa. As masas, sometidas a ese movemento tan violento, sofren unha fricción que eleva moitísimo a súa temperatura e produce un efecto que podemos pensar como análogo ao dun ferro ao lume moito tempo: vólvese incandescente e alumea.

Vemos que a imaxe global do fenómeno é enorme, pero, malia ser dun tamaño maior que o noso sistema solar, está tan lonxe que, feitas as contas, resultou que o telescopio necesario para velo tería que ter un diámetro como o do planeta Terra (a capacidade dun telescopio depende do diámetro da súa sección captadora de luz). O reto sería como contar dende Vigo os buratiños dunha pelota de golf en Moscova.

Pero chegou o talento de novo, a través dunha técnica óptica chamada interferometría. Esta técnica permite que se poidan situar telescopios ao longo dunha ampla extensión para que, de xeito

coordinado, observen ao mesmo tempo un obxecto. Cada telescopio capta un cacho da imaxe e, despois, un tratamento informático enche os ocos entre cada cacho para dar unha imaxe completa, análoga á que proporcionaría un telescopio cuxa sección fose a desa ampla extensión [8]. Fixéranse observacións deste xeito con telescopios separados centos de metros, pero un consorcio internacional (chamado Event Horizon Telescope - EHT [9]), creado para asumir a primeira observación directa dese burato negro da galaxia M87, lanzouse a estender esa idea a telescopios repartidos por todo o planeta. Nomeadamente, oito telescopios repartidos por España (Granada), os EUA (no continente e en Hawai), México, Chile e o Polo Sur.

Os oito coordináronse para tomar datos ao longo de cinco días do mes de abril de 2017 (en que as estimacións indicaron que a meteoroloxía garantiría boas condicións de observación para todos os lugares). O sistema esixiu a maior toma de datos feita xamais na historia da ciencia [10] (o récord ata entón estaba no Gran Colisionador de Hadróns, LHC, do laboratorio europeo de física de partículas, o CERN). Neste experimento, os datos acumulados por cada telescopio en cinco días foron maiores que os acumulados polo LHC nun ano. Ademais, a precisión esixida non

podía ser satisfeita por ningún tipo de sincronización en tempo real (sinais de radio para conectar os diferentes lugares, por exemplo), así que cada observatorio gardou os seus datos, vinculándoos a un tempo tomado por cadanseu reloxo atómico. Almacenados os datos en discos duros dunha capacidade que nunca se acadara antes, foron transportados en man a un único punto, onde foron procesados por catro equipos diferentes, de xeito independente, para obter cada un unha única foto. Tal proceso de *revelado* desa foto levou dous anos e, tras el, os catro equipos chegaron a unha foto moi parecida, presentada en varias roldas de prensa simultáneas en todo o mundo o 10 de abril de 2019 [11]. A resolución deste telescopio virtual mellora en mil veces a do observatorio espacial Hubble.

A foto pode parecer de mala calidade, pero fóra do simbolismo e do feito de tratarse do resultado dun traballo inmenso, ten máis retorno científico do que parece. En primeiro lugar, permite confirmar que as simulacións realizadas teoricamente sobre buratos negros foron en boa dirección. As análises do aspecto da foto permite mesmo detalles como saber en que dirección está rotando.

Ante unha conmoción deste nivel, cabe preguntarse se este traballo será recoñecido cun Premio Nobel. Para 2019 será imposible, pola simple dinámica de prazos do premio. O máis cedo posible sería en 2020. Pero se o Comité Nobel se inclínase polo recoñecemento deste fito, tería que resolver outro problema: a quen concedérllelo (algo que adoita ser un dos máis importantes focos de discusión interna dese comité, á hora de valorar resultados dunha ciencia moderna que necesita de multitude de colaboracións). Hai varios candidatos. O máis evidente é o de Sheperd Doeleman (1967), o promotor e director do proxecto EHT. Séguelle Heino Falcke (1966), autor do traballo que debullou as posibilidades de observación do horizonte de sucesos coa rede de telescopios mediante a técnica de interferometría. Á marxe deses, atópanse dous físicos teóricos da dinámica de buratos negros, como Roy Kerr (1934), que no marco da Teoría da Relatividade obtivo a solución para un burato negro en rotación (clave para os detalles usados nas simulacións de hoxe en día), e Jean-Pierre Luminet (1951), a primeira persoa que se atreveu a dicir (na década dos anos setenta) como sería a imaxe dun burato negro, e mesmo suxeriu o da galaxia M87 (o que se viu no experimento) como potencial obxectivo. A eles podería unirse como candidato algún dos mem-

bro do equipo encargados da modelización dos fluxos de radiación ao redor do burato negro.

Alén do fito histórico de ver por primeira vez un burato negro, a fazaña tecnolóxica ten maior mérito, se cabe. Ábrense as portas a estender esta técnica a un espazo maior, colocando diferentes telescopios en satélites para incrementar fóra da Terra a área do telescopio virtual resultante e ver detalles do Universo ata entón considerados inalcanzables. Unha das mellores cousas do futuro sempre será ver as sorpresas que nos deparará o adianto científico ■

## Referencias

- [1] J. Mira Pérez. Domingo de Soto, early dynamics theorist. *Physics Today* 62 (1), 9-10 (2009). Dispoñible en <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/18443>
- [2] J Mira Pérez, S. X. Bará Viñas, S.X. Determining Longitude: A Brief History. *Physics Today* 58 (10), 15-16 (2005). Dispoñible en <https://minerva.usc.es/xmlui/handle/10347/18444>
- [3] A. Einstein. Über einen die Erzeugung und Verwandlung des Lichtes betreffenden heuristischen Gesichtspunkt. *Annalen der Physik* 17 (6), 132-148 (1905).
- [4] A. Einstein. Verbo da teoría da relatividade restrinxida e xeral (tradución ao galego do orixinal *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*). Editado polo Consello da Cultura Galega (2017). Dispoñible en <http://consellodacultura.gal/publicacion.php?id=4298>
- [5] J. R. Oppenheimer, H. Snyder. On Continued Gravitational Contraction. *Physical Review* 56 (5), 455-459 (1939).
- [6] S. W. Hawking. Black hole explosions? *Nature* 248, 30-31 (1974). <https://www.nature.com/articles/248030a0>
- [7] B.P. Abbott et al. (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Physical Review Letters* 116, 061102 (2016).
- [8] [https://www.youtube.com/watch?v=hMsNd1W\\_lmE&feature=youtu.be](https://www.youtube.com/watch?v=hMsNd1W_lmE&feature=youtu.be)
- [9] <https://eventhorizontelescope.org/>
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=0RxitCeukI&feature=youtu.be>
- [11] Event Horizon Telescope Collaboration. First M87 Event Horizon Telescope Results. I. The Shadow of the Supermassive Black Hole. *The Astrophysical Journal Letters* 875 (1), L1 (2019). doi:10.3847/2041-8213/ab0ec7  
Simulacións buratos negros (Science)